

CARACTERIZACIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD REFORZADO CON FIBRAS DE AGAVE POR DRX Y ENSAYOS DE TRACCIÓN

CHARACTERIZATION OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE REINFORCED WITH AGAVE FIBERS BY XRD AND TENSILE TESTS

Raúl Ramón García Herrera

Tecnológico Nacional de México en Celaya
rgh_001@hotmail.com

Diego Camacho Arzate

Tecnológico Nacional de México en Celaya
diegocaad_19@hotmail.com

Isidro Montes Zavala

Tecnológico Nacional de México en Celaya
Isidro.montes@itcelaya.itc.mx

Francisco Javier Cervantes Vallejo

Tecnológico Nacional de México en Celaya
francisco.cervantes@itcelaya.edu

Luis Alejandro Alcaraz Caracheo

Tecnológico Nacional de México en Celaya
alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx

Carolina Hernández Navarro

Tecnológico Nacional de México en Celaya
carolina.hernandez@itcelaya.edu.mx

Resumen

En el presente artículo se muestra la caracterización usando difracción de rayos X y ensayos de tracción de un material compuesto de una matriz de polietileno de alta densidad (HDPE) reforzado con partículas de fibra de agave, en las cuales están mezcladas tres especies: tequilana, salmiana y americana. Se evalúa la influencia de diferentes porcentajes de agave para observar los cambios en su estructura cristalina y como consecuencia, su comportamiento esfuerzo-deformación. Los resultados obtenidos son los de un material con propiedades

mecánicas reducidas, pero que sin duda tiene campo de aplicación enorme por la tendencia de utilizar biopolímeros.

Palabra(s) Clave(s): Agave, polietileno de alta densidad (HDPE), difracción de rayos X (DRX), pruebas de tracción.

Abstract

The present article shows the characterization by X-ray diffraction and tensile tests of a composite material of a high-density polyethylene (HDPE) matrix reinforced with agave fiber particles, in which three species are mixed: tequilana, salmiana and americana. The influence of different percentages of agave is evaluated to observe the changes in its crystalline structure and, therefore, its stress-deformation behavior. The results obtained are of a material with reduced mechanical properties, but undoubtedly have an enormous field of application by the tendency to use biopolymers.

Keywords: *Agave, high-density polyethylene (HDPE), X-ray diffraction (XRD), tensile testing.*

1. Introducción

Durante los últimos años el uso de materiales poliméricos ha estado aumentando hasta el grado de ser estos los más utilizados en la actualidad, principalmente en la industria automotriz, dejando atrás a los metales. La industria de los materiales poliméricos tiene una producción mayor que la del acero y el aluminio junta. (Bower, 2002).

El uso de fibras vegetales para el refuerzo de materiales compuestos de una matriz polimérica se está convirtiendo en una alternativa atractiva para aplicaciones en la industria automotriz debido a su bajo costo, son biodegradables, su peso es ligero para un menor consumo de gasolina y porque se obtienen con una materia prima renovable con propiedades superiores a otros materiales, cuando se utiliza como refuerzo de materiales poliméricos. (Albinante, 2012). Una de las características más importantes al agregar alguna fibra natural es que presentan propiedades mecánicas que en algunas ocasiones pueden ser

comparadas con algunos materiales de refuerzos sintéticos como la fibra de vidrio o la fibra de carbono.

En México existe una gran posibilidad de trabajar con la fibra de agave como refuerzo, ya que es el país con mayor diversidad en el mundo, de las aproximadamente 200 especies del género *Agave*, 150 se encuentran en México distribuyéndose en más del 75% del territorio, siendo muy diversas en las provincias áridas y semiáridas del centro y norte (García, 2007).

La empresa automotriz Ford ha aprovechado esta situación y por el momento se encuentra experimentando para determinar la durabilidad y calidad del bioplástico generado a partir de derivados del agave con el fin de sustituir algunos elementos de plástico del interior del auto tales como portavasos y cableado.

En el presente artículo se muestra la caracterización, mediante difracción de rayos X y ensayos de tracción de un material compuesto de una matriz de polietileno de alta densidad (HDPE) reforzado con partículas de fibra de agave, en las cuales están mezcladas tres especies: tequilana, salmiana y la americana. Se evalúa la influencia de diferentes porcentajes de agave para observar los cambios en su estructura cristalina y por lo tanto en su comportamiento esfuerzo-deformación.

2. Métodos

Se trató por medios mecánicos para acondicionar la fibra de agave con el propósito de que pueda ser incorporada junto con el HPDE en porciones de 2, 4, 6, 8 y 10% en el proceso de extrusión. En el proceso se seca y se muele hasta obtener pequeñas partículas de fibras, para mezclarlo es sometido un proceso de extrusión, para el posterior análisis mediante difracción de rayos X y espectrometría FTIR. El proceso es explicado más detalladamente a continuación: Inicialmente el material fue extraído de pencas de agaves de las especies tequilana, salmiana y la americana, característicos del estado de Jalisco y la región, posteriormente fue deshebrado y lavado para limpiar impurezas, y finalmente secado en una estufa a aproximadamente a 70 °C por 24 horas para extraer la humedad residual con el fin de que su proceso de molienda sea más fácil. Se molió en el molino de bolas ubicado en el laboratorio de Química Pesada

del Instituto Tecnológico de Celaya hasta obtener pequeñas partículas de fibra las cuales se tamizaran con las mallas de 30, 80 y finalmente 200 (poros lineales por pulgada cuadrada) para separarlas basados únicamente en el tamaño, de este proceso se consiguen partículas de un tamaño menor a 75 micrones, esto para que durante el proceso de extrusión la fibra no tape los conductos de la extrusora debido a que las partículas de agave a diferencia de las del polietileno no se fundirán y permanecerán solidas al momento de la extrusión o inyección para algunas la mayoría de las aplicaciones.

Para incorporar la fibra en el material compuesto de matriz polimérica (HDPE) se mezcló a mano y después se realizó una extrusión, que consiste en pasar ambas por un tornillo sin fin a una alta temperatura para fundir el plástico y así puedan incorporarse con la fibra. Esta se realizó con la unidad de inyección despegada del molde en la inyectora de plásticos DEMAG ERGOTECH 50-270 VIVA situada en el laboratorio de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Celaya. Variando los porcentajes de fibra de agave en un 2, 4, 6, 8, 10% en cada lote. Con los siguientes parámetros de inyección (tabla 1).

Tabla 1 Parámetros de inyección a la extrusión.

Parámetros de extrusión	
Presión de inyección	65 bar
Velocidad de inyección	80 mm/s
Tiempo pres. post.	7 s
Presión post.	70 bar
Tiempo de enfriamiento	30 s
Retardo dosificación	0.50 s
Revoluciones	190 rpm
Contrapresión	12 bar
Contrapresión manual	0 bar
Fuerza de cierre	500 kg
Temperatura de la boquilla	214 °C
Temperatura de husillo	190-210 °C
Retroceso SC	140 mm
Parada de dosificación	140 mm
Temperatura chiller	Apagado

Cada descarga de material se comprimió en forma de hojuela para poder ser trituradas con mayor facilidad en el molino de cuchillas, por el cual se pasó el

material hasta hacer pellets que pudieran pasar por una malla con orificios de aproximadamente 4 mm. Es hasta este punto donde se considera que se tiene una concentración homogénea.

Se inyectaron las probetas con medidas establecidas bajo la norma ASTM D-638 en la misma inyectora bajo los parámetros de inyección mostrados en la tabla 2.

Tabla 2 Parámetros de inyección.

Parámetros de inyección	
Presión de inyección	500 bar
Velocidad de inyección	110 mm/s
Tiempo pres. post.	7 s
Presión post.	112 bar
Tiempo de enfriamiento	30 s
Retardo dosificación	0.50 s
Revoluciones	150 rpm
Contrapresión	12 bar
Contrapresión manual	0 bar
Fuerza de cierre	490 kN
Temperatura de la boquilla	190 °C
Temperatura de husillo	190-210 °C
Retroceso SC	38 mm
Parada de dosificación	33 mm
Temperatura chiller prom.	8.5 °C

Difracción de rayos X

Se realizaron barridos de rayos X a una muestra de cada lote en la maquina TNX EASYX600 ubicada en el laboratorio de Ing. Química del Instituto Tecnológico de Celaya, con un target de cobre con su longitud de onda característica de 1.541 Å, 15 mA y 25 kV. Con lectura cada 0.02 en el eje del ángulo de difracción 2θ .

Ensayos de tracción

Los ensayos de tracción fueron realizados bajo la norma ASTM D-638 en la máquina para ensayos de tracción Instron 1011, ubicada en el laboratorio de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya, con una velocidad de prueba de 10 mm/min.

3. Resultados

En la figura 1 se puede apreciar la coloración de las probetas que se muestran en un tono verde debido al agave, mientras que a medida que va aumentando la concentración de la fibra, la coloración tiende a ser de un tono cada vez más oscuro.

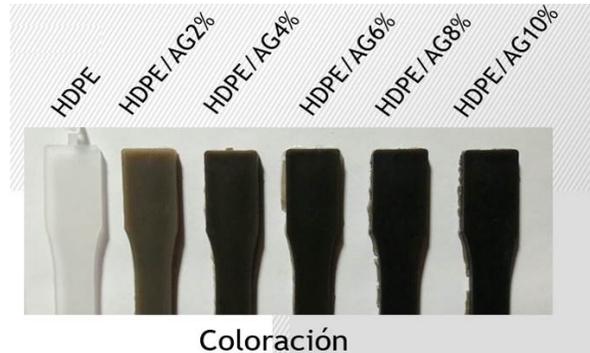


Figura 1 Coloración de probetas a diferentes porcentajes de Agave.

En la figura 2 se exhiben los espectros DRX del HDPE con diferentes porcentajes de agave.

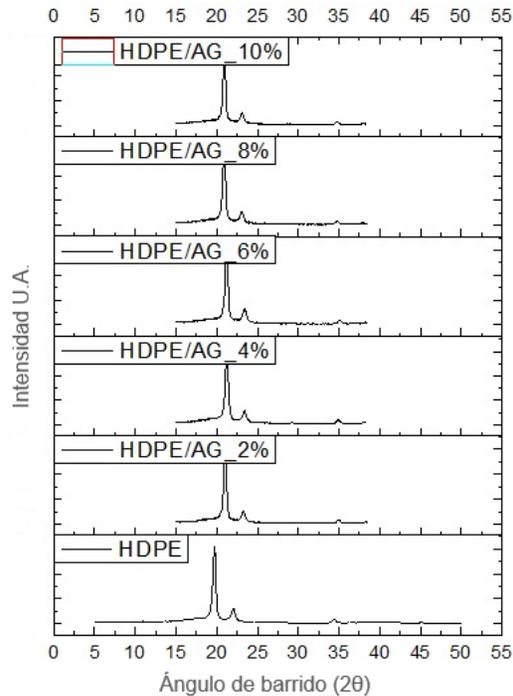


Figura 2 Espectros DRX del HDPE virgen y con diferentes porcentajes de agave.

Se puede observar que en todas las gráficas se obtiene un espectro similar, es decir, no se genera un desfase horizontal de los picos de las gráficas de las muestras de material reforzado en comparación con la de HDPE virgen, lo cual indica que no se ha originado un cambio de fase en las estructuras cristalinas presentes. Tampoco ha habido variación relativa entre las alturas de los picos principales, lo cual indica que no se ha favorecido a la formación de alguna de estas fases. Y por ultimo los resultados de las pruebas de tracción (figura 3).

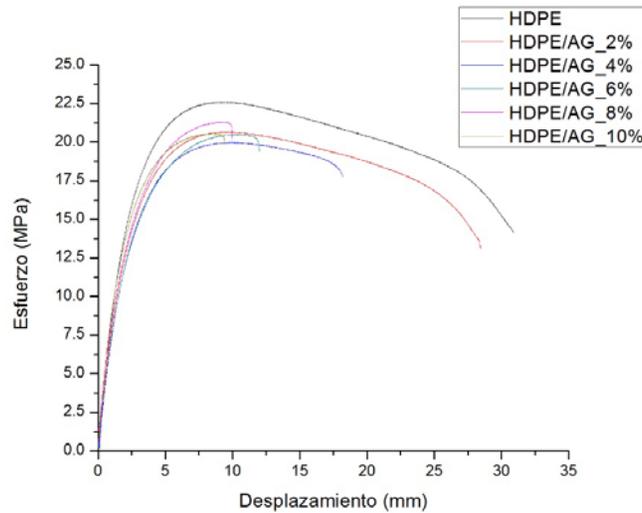


Figura 3 Gráficas Esfuerzo-Deformación empalmadas.

La tabla 3 muestra un resumen de las propiedades mecánicas obtenidas de las pruebas de tensión donde se muestra que la resistencia a la tensión y porcentaje de elongación de los materiales con fibras de agave son inferiores a las de el HDPE virgen.

Tabla 3 Resistencia a la tensión y porcentaje de elongación por porcentaje de agave.

Columna1	Resistencia a la tensión (Mpa)	Porcentaje de elongación (%)
HDPE	22.13	48.53
HDPE/AG2%	20	40.97
HDPE/AG4%	20.23	23.24
HDPE/AG6%	20.73	16.89
HDPE/AG8%	20.19	15.6
HDPE/AG10%	21	14.6

4. Discusión

El agave soporta la extrusión e inyección, dado que las temperaturas ideales para estos procesos sobre HDPE no sobrepasan la temperatura de inicio de la degradación de la fibra. También se corrobora por pruebas DRX que entre mayor intensidad mayor es la cristalinidad, mientras que por pruebas mecánicas que a mayor concentración de agave, el material tiende a ser más frágil, manteniendo valores similares de otras propiedades como S_{ut} , entre cada porcentaje. Por lo cual se propone como porcentaje óptimo el rango entre el 2 y 6% de agave. De igual manera se recomienda continuar la investigación con porcentajes mayores dado que no se presenta una tendencia clara con la cual se puedan extrapolar resultados.

Se presentó una buena flexibilidad al hacer pruebas manualmente. Por lo cual se propone seguir con pruebas mecánicas que no se presentaron en este artículo tales como flexión y tribología, se pueden encontrar aplicaciones para las cuales pueda ser adecuado, puesto que la principal idea de utilizar menor cantidad de polímero y que el material sea degradable sigue en pie y sigue siendo una necesidad.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Bower, D. I. (2002). An Introduction to Polymer Physics.
- [2] Negrete, L. A. (2010). Extracción de fibras de agave para la elaborar papel y artesanías. 77-83.
- [3] García Mendoza, Abisai j. (2007), Los agaves de México
- [4] Albinante, É. B., Sandra Regina (2012). Revisao des tratamentos quimicos de fibra natural para mistura com poliolefinas. 114-122.
- [5] Valverde Redes, Eduardo (2012), Comportamiento fotooxidativo de compósitos de polietileno de alta densidad con incorporación de m-BiVO₄ y y-Bi₂MoO₆.
- [6] Bermello, Addiss; Diaz, Daniel; Martínez, Ricardo; Quintana, Gretel; Leal, Juan A. (2008), Estudio de un material compuesto de partículas de bagazo de caña y matriz de polietileno mediante espectrometría FTIR.

- [7] Ruiz, Gladiz; Montoya, Carolina; Paniagua, Marco (2009), Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca.
- [8] Bayer Resplandis, Jordi (2013), Valoración de materiales compuestos de HDPE reforzados con fibras de agave sisalana. Aproximación de un paradigma de geometría fractal para las fibras.
- [9] Palmer Martin, G. y Valera Núñez R. (1997), Tendencias actuales de los plásticos en la industria automovilística.
- [10] Velásquez Restrepo, Sandra M.; Peláez Arroyave, Gabriel J; Giraldo Vásquez, Diego H. (2015), Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos.